

LED 정전류 구동회로의 입력전압 리플 크기에 의한 특성 비교

Characteristic comparisons of the constant current LED driver by the ripple of the input voltage

박 종 연* 전 인 응** 유 진 완*** 최 영 민****
Park, Chong-Yeun Jeon, In-Ung Yoo, Jin-Wan Choi, Young-Min

Abstract

Recently, there are a lot of papers in order to replace the electrolytic capacitor into the film capacitor in output of PFC(Power Factor Correction). However, the film capacitor, which has capacitance of low values, causes a large ripple voltage in output of PFC. The LED drivers are connected series in the output of PFC and affected by the magnitude of voltage ripple. In this paper, we have compared the fixed frequency method with the variable frequency for the constant-current control and propose the control method to avoid the sub-harmonic oscillation in the variable input voltage. An 80W PFC, using film capacitors instead of electrolytic capacitors, and LED driver has been built and compared the fixed frequency control method with the variable frequency control method

키워드 : 서브 하모닉 오실레이션, 주파수 고정 제어, 주파수 가변 제어

Keywords : *sub-harmonic oscillation, fixed frequency control, variable frequency control*

1. 서론

LED는 높은 발광효율 및 장수명인 특징으로 인해 백열등, 형광등 및 각종 방전등을 대체하고 있다. 현재 LED 조명은 대형 유통업체, 주차장이나 관공서 등에서 기존 조명을 교체하기 시작하였으며, 일반 주택 및 도로조명, 경관조명 등으로 확장해 나아가고 있다[1]. 그러나 LED 칩과는 달리 구동회로의 수명이 LED에 비하여 짧기 때문에 LED의 장점인 장수명 특성을 살리지 못하고 있다[2][3].

보통 75W 이상의 구동회로에는 역률을 보상하

기 위한 PFC 회로가 사용된다. PFC의 출력에는 출력 전압의 평활을 위한 대용량의 전해 커패시터가 사용된다. 구동회로의 수명이 짧은 이유는 PFC 회로에 사용되는 대용량의 전해 커패시터 때문이다[4]. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해 전해 커패시터를 수명이 긴 필름 커패시터로 대체하기 위한 연구가 진행되었다. 여러 방법 중 입력 전류를 왜곡하여 커패시터의 용량을 저감하는 방법이 연구되었다[5].

PFC의 출력에 저용량의 필름 커패시터를 사용할 경우 대용량 전해 커패시터를 사용할 때보다 출력전압 리플이 비교적 크므로 요청 되는 LED 드라이버는 이러한 입력전압의 변화에 대하여 능동적으로 대처하며 LED에 정전류를 공급 할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 LED 구동회로의 전류 제어 방법 중 어떤 방법이 큰 입력전압의 변동에도 적용 가능한지에 대하여 정전류 제어 방법들을 비교하였으며, 이를 실험을 통하여 확인하였다.

* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사, 교신저자

** 강원대학교 전기전자공학과, 학부과정

*** 강원대학교 대학원 전기전자공학과, 박사과정

**** 강원대학교 대학원 전기전자공학과, 석사과정

2. 3고조파 주입에 의한 커패시터의 용량 저감 방법

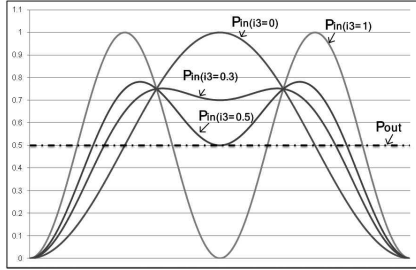


그림 1. 3고조파 주입 비에 따른 입력전력

PFC의 출력 전해 커패시터는 사인파의 제곱형태인 입력전력과 DC 형태의 출력전력의 차이를 보상해 주는 역할을 한다. 입력전류에 3고조파의 전류가 주입되면 입력 전력의 peak 값은 줄어들고 입력전력보다 출력전력이 큰 구간이 보상된다[6].

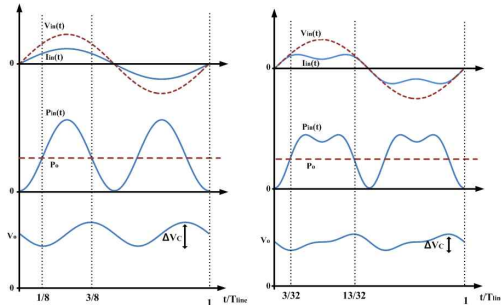


그림 2. 3고조파 주입에 따른 출력전압의 리플

입력전력이 출력전력보다 큰 구간에서 출력전압의 리플은 상승하고 입력전력이 출력전력보다 작은 구간에서 출력전압의 리플은 하강한다. 3고조파가 주입되면 리플의 상승폭과 하강폭이 감소하며, 따라서 리플전압의 크기가 감소한다.

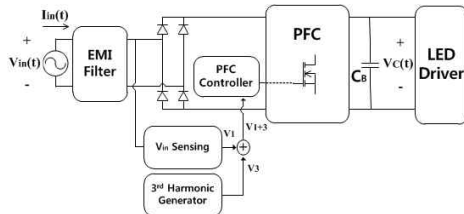


그림 3. 3고조파 주입을 위한 블록도

그림 3은 입력전류에 3고조파를 주입하기 위한

회로의 블록도를 보여준다. 입력전압을 센싱받은 후 입력전압과 동기된 3고조파를 생성하여 센싱된 입력전압에 더하여 원하는 파형을 만든다. 만들어진 파형을 PFC전용 IC인 MC33262의 레퍼런스 단자에 입력하여 입력전류에 3고조파를 주입하였다[7].

그림 3은 그림 2의 블록을 구현하여 실험한 파형으로 빨간색은 입력전류, 파란색은 입력전압, 노란색은 출력전압, 초록색은 multi전압이다.

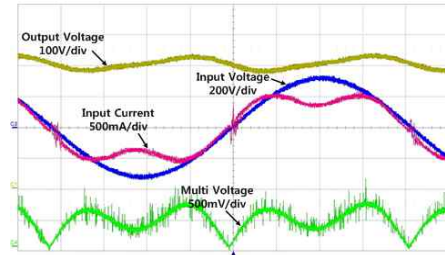


그림 3. 3고조파가 주입된 PFC의 파형

3. LED 제어 방법의 비교

3.1 입력전압 변동에 따른 문제점

LED 구동회로의 정전류 제어 방법은 주파수를 고정하고 duty ratio를 제어하는 방법과 주파수를 가변하고 OFF time 또는 ON time을 고정하여 LED에 정전류를 공급하는 방법이 있다.

그림 3에서 측정된 출력전압 리플의 최저점과 최고점에서의 전압차이는 약 80V이며, 이처럼 리플이 큰 전압을 LED 구동회로의 입력으로 사용할 경우 LED 구동회로는 duty ratio 또는 주파수를 가변 함으로써 LED에 정전류를 공급한다. 그러나 부하의 상태에 따라 리플전압 최저 또는 최고점에서 제어 가능 범위를 벗어날 가능성을 갖고 있다. 따라서 입력전압의 변동이 큰 경우 어떤 제어 방법으로 정전류를 공급하는 것이 적절한지에 대하여 비교하였다.

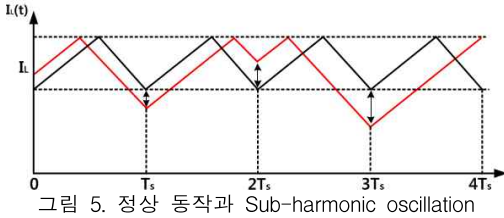
3.2 LED 구동회로의 제어 방법

3.2.1 주파수 고정, Duty ratio 제어 방법

LED 드라이버 및 DC/DC 컨버터에서 사용되는 방법으로 스위칭 주파수를 일정하게 유지하면서 duty ratio를 조절해서 출력을 일정하게 유지 시켜 준다. LED 드라이버는 전류 제어 동작을 하며 전류가 일정 레벨에 도달하면 스위치를 OFF하고 정해진 주파수에 따라 스위치를 ON 시킨다.

입력전압에 리플이 큰 경우 입력전압의 최저점에서 인덕터 전류의 기울기가 감소하고 그러면 전류가 증가하는 시간이 길어져 duty ratio가 50%를 넘어 오동작을 하게 된다. 이를 sub-harmonic oscillation이라 하며 이는 duty ratio가 50%이상

서만 발생할 수 있다. sub-harmonic oscillation은 긴 펄스와 짧은 펄스 사이에서 스위치 펄스 전환을 초래한다[8].



위의 그림 5에서 검정색 파형은 duty ratio가 50%미만 일 때, 벡 컨버터구조에서 전류 제어 모드로 동작할 때이다. 여기서 빨간색 파형은 Duty ratio가 50% 이상일 때, sub-harmonic oscillation이 발생하여 LED구동회로가 오동작 하는 그림이다.

3.2.2 주파수 가변, 고정 OFF Time 제어 방법

LED 드라이버의 고정 OFF time 제어 방법은 스위치가 OFF된 다음 일정시간 지연 후에 스위치를 다시 ON 시키는 방법이다. 입력전압이 변동하여 인덕터의 전류가 빠르게 증가하거나 천천히 증가하는 상황에서도 인덕터 전류의 감소 기울기는 항상 같기 때문에 OFF time이 고정되어있으면 인덕터의 전류를 항상 같은 레벨까지 떨어트릴 수 있다.

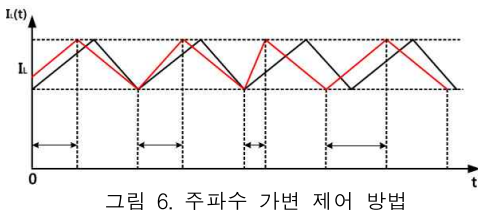


그림 6에서 빨간색 파형은 입력전압 변동에 따른 인덕터 전류의 기울기 변화에 대한 동작의 그림이다. 스위치의 duty ratio와 주파수가 가변되며 인덕터에 흐르는 전류를 일정하게 유지 시켜준다 [9].

4. 실험 결과

LED 드라이버의 주파수 고정, duty ratio 제어 방법과 주파수 가변, 고정 OFF time 제어 방법에 대한 실험을 실행 하였다. 실험에 사용된 LED 드라이버 IC는 Supertex 社의 HV9910B를 사용하였다. HV9910B는 두 가지의 동작모드를 모두 지원하며 8~450V의 입력전압 범위를 갖고 있다.

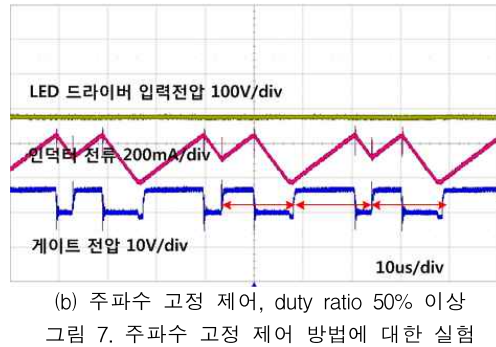
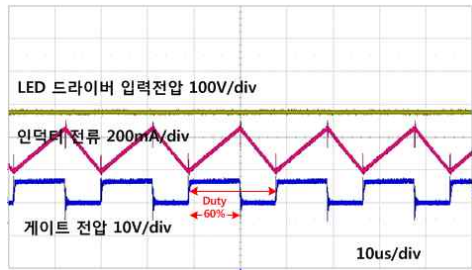


그림 7은 주파수 고정, duty ratio 제어 방법에 대한 실험이다. 여기서 그림 7(a)는 3고조파가 주입된 PFC의 출력전압 리플 최고점에서의 스위칭 파형이다. 입력전압의 리플이 최고점일 때 FET 게이트의 duty ratio는 50%이하이며 이때 인덕터 전류는 일정하게 유지되며 정상 동작하는 것을 확인할 수 있다.

그림 7(b)는 3고조파가 주입된 출력전압 리플 최저점에서의 스위칭 파형이다. 입력전압의 크기가 작아지면 인덕터 전류의 상승 기울기가 감소하고 스위치의 duty ratio가 50%를 넘게 된다. 그러면 그림 5와 같은 sub-harmonic oscillation이 발생하고 전류 제어를 제대로 할 수 없다.





(b) 주파수 가변 제어, duty ratio 50% 이상
 그림 8. 주파수 가변, OFF time 고정에 대한 실험

그림 8은 주파수 가변, 고정 OFF time 제어 방법에 대한 실험이다. 그림 8(a)는 3고조파가 주입된 PFC의 출력전압 리플 최고점에서의 파형이다. 여기서 인덕터 전류의 peak to peak가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있으며 100 μ s 동안 여섯 번의 스위칭 주기를 갖는다. 이때 스위치의 duty ratio는 43%이므로 sub-harmonic oscillation이 발생하지 않는다.

그림 8(b)는 3고조파가 주입된 출력전압 리플 최저점에서 스위칭 파형이다. 입력전압이 감소하면 인덕터 전류의 상승 기울기는 감소하며 그로인해 duty ratio가 60% 가까이 까지 증가한다. 하지만 이 제어 방법에서는 주파수가 가변되어 sub-harmonic oscillation이 발생하지 않으며 인덕터 전류를 일정하게 유지시켜 주는 것을 확인할 수 있다. 실제로 100 μ s 동안 5번의 스위칭 주기를 갖는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 이처럼 입력전압의 변동이 큰 상황에서 LED의 정전류 구동을 안정적으로 하며, 정전류 구동 방법에서 나타나는 sub-harmonic oscillation을 피하기 위한 LED 드라이버의 구동 방법에 대하여 비교하였다. LED배열의 직렬연결 개수가 적어 입력전압 리플의 최저점에서도 스위치의 Duty ratio가 50%를 넘지 않을 경우 주파수 고정 제어 방법이 적용 가능하지만 LED의 직렬연결 개수가 많아 스위치의 duty ratio가 50%를 넘을 경우 주파수 가변 방식의 LED 구동회로를 사용하는 것이 적합하다. 따라서 출력전압의 리플 크기가 60~70V인 장수명 PFC에 주파수 가변 방식의 LED 구동회로를 적용 할 경우 안정적인 정전류와 함께 기존 LED 조명 시스템보다 훨씬 더 긴 수명을 갖을 수 있으며, 이는 LED 조명의 유지 및 관리비용 감소에 기여할 것이다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2011-C6150-1101-0002)

참고 문헌

- [1] 김용원, 이종찬, “친환경 고효율 LED 조명 발전 방향”, *건축현장설비학회지*, 3(4), 2009.
- [2] Amine Lahyani, Pascal Venet, Guy Grellet, and Pierre-Jean Vivierge, “Failure Prediction of Electrolytic Capacitors During Operation of a Switchmode Power Supply”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol.13, no. 6, Nov. 1998.
- [3] Kun Zhao, Philip Ciufo, Senior Member, IEEE, and Sarath Perera, Member, IEEE, “Lifetime Analysis of Aluminum Electrolytic Capacitor Subject to Voltage Fluctuations”, *Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2010 14th International Conference on, pp. 1-5, Sept. 2010.
- [4] LUXEON All in Plug & Play Guide
- [5] Linlin Gu, Xinbo Ruan, “Means of Eliminating Electrolytic Capacitor in AC/DC Power Supplies for LED Lightings”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 24, NO. 5, 2009.
- [6] Beibei Wang, Xinbo Ruan, Kai Yao, Ming Xu, “A Method of Reducing the Peak-to-Average Ratio of LED Current for Electrolytic Capacitor-Less AC-DC Drivers”, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, VOL. 25, NO. 3, MARCH 2010.
- [7] Yoo Jin-wan, Jung Kwang-hyun, Jeon In-ung, Park Chong-yeun, “THE DEVELOPMENT OF HARMONIC INJECTION CIRCUIT FOR CAPACITOR REDUCTION METHOD OF ACTIVE PFC”, *4th Lighting conference of China, Japan and Korea on*, pp 142-146 2011.
- [8] Guohua Zhou, Jianping Xu, Jinping Wang, Qingbo Mu, “Elimination of Sub-harmonic Oscillation of Digital Average Current Control Buck Converter”, *Communications, Circuits and Systems*, 2008.
- [9] HV9910B - Universal High Brightness LED Driver - Supertex, Inc